

Rec'd 12/10

24 MAR 2005

107/15 103/522018

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

28.01.2004

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 28 Jan 2004
WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:**

102 44 647.4

**Anmeldetag:**

25. September 2002

**Anmelder/Inhaber:**

Broder Ketelsen und  
Andrés Ketelsen, 37124 Rosdorf/DE

Erstanmelder: Ingenieurbüro Broder Ketelsen,  
37124 Rosdorf/DE

**Bezeichnung:**

Induktiver Durchflussmesser mit konkaver  
Wirkfläche

**IPC:**

G 01 F 1/58

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 22. Januar 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Klostermeyer

Best Available Copy



## Beschreibung

5

### **Induktiver Durchflußmesser mit konkaver Wirkfläche**

Die Erfindung betrifft induktive Durchflußmesser mit den Merkmalen des Oberbegriffs von Patentanspruch 1.

10

15

20

25

Durchflußmesser der hier betrachteten Art dienen zur Bestimmung des Durchflusses elektrisch leitender Flüssigkeiten durch Kanäle oder Rohre insbesondere kreisförmigen Querschnittes. In einem eine elektrisch isolierende Kanalwand oder Rohrwand aufweisenden Kanalabschnitt sind an einander gegenüberliegenden Stellen eines Kanalquerschnittes punktförmige Elektroden vorgesehen, welche elektrisch an die elektrisch leitende Flüssigkeit angekoppelt sind, insbesondere zum Kanalinnenraum hin freiliegen und leitende Verbindung zu der leitenden Flüssigkeit aufnehmen. Senkrecht zur Verbindungslinie zwischen den Elektroden und senkrecht zu den Strömungslinien der den Kanal oder das Rohr durchfließen leitenden Flüssigkeit verlaufen die Feldlinien eines magnetischen Feldes, welches durch eine Permanentmagnetanordnung oder insbesondere durch eine Spulenanordnung erzeugt wird. Leiterpfade, die von der einen punktförmigen Elektrode zur anderen punktförmigen Elektrode verlaufen und auf dem die Elektroden enthaltenden Rohrabschnitt oder Kanalabschnitt den gesamten Rohrquerschnitt oder Kanalquerschnitt durchsetzen, können, wenn sich die leitende Flüssigkeit längs des Kanals oder Rohres bewegt, als im Magnetfeld bewegte Leiter verstanden werden, in denen aufgrund der Flüssigkeitsströmung Spannungen induziert werden, die von den punktförmigen Elektroden über durch die isolierende Kanalwand oder Rohrwand geführte Anschlüsse abgenommen werden und ein Maß für den Durchfluß der leitenden Flüssigkeit durch das Rohr oder den Kanal sein.



Genauer betrachtet ist das von den Elektroden abnehmbare Ausgangssignal eines induktiven Durchflußmessers der vorstehenden beschriebenen Art folgendermaßen anzugehen:

$$S \sim \int_{(Vol)} (\vec{B} \times \vec{W}) \cdot \vec{v} d(Vol)$$

Das Integral über das Volumen wird von dem jeweiligen Produktwert von Vektoren dreier Vektorfelder gebildet, von denen  $\vec{B}$  die magnetische Induktion in dem Strömungskanalabschnitt in dem durch den Strömungskanalabschnitt umgrenzten Zylinder-  
raum mit dem Kanalinnenquerschnitt und mit bestimmter Länge stromauf und stromab  
von der die Elektroden enthaltenen Radialebene ist und  $\vec{W}$  ein Wertigkeits-Vektorfeld  
bezeichnet, worunter ein Feld von Vektoren in dem zuvor definierten Zylinderraum zu  
verstehen ist, welche die Konfiguration der Leiterpfade zwischen den Elektroden in dem  
Zylinderraum kennzeichnen. Schließlich bezeichnet  $\vec{v}$  das Vektorfeld im genannten  
Zylinderraum mit Vektoren entsprechend den Geschwindigkeiten der Partikel der leitfähigen  
Flüssigkeit.

Wären die Werte von  $\vec{B}$  nach Betrag und Richtung konstant (homogenes magnetisches Feld) und wären die Werte des Wertigkeits-Vektorfeldes  $\vec{W}$  nach Betrag und Richtung konstant entsprechend Strompfaden, die parallel zueinander zwischen Parallelelektroden verlaufen, so wäre das Teilprodukt  $\vec{B} \times \vec{W}$  konstant, derart, daß ungleichförmige und/oder unsymmetrische Geschwindigkeitsverteilungen der zu untersuchenden Strömung der elektrisch leitfähigen Flüssigkeit durch den Strömungskanalabschnitt nicht zu Meßwertverfälschungen führen.

Zwar kann mit einigem Aufwand das Magnetfeld des Magnetfelderzeugungssystems so ausgebildet werden, daß es im Bereich des Innenraums des Strömungskanalabschnittes im wesentlichen homogen ist, während bei im Querschnitt rundem Strömungskanalabschnitt und bei einander diametral gegenüberstehenden, im wesentlichen



punktförmigen Elektroden das Wertigkeits-Vektorfeld keinesfalls homogen ist. Dies zeigt ohne weiteres die nachfolgende Überlegung:

Zeichnet man in Rohrquerschnitten oder Kanalquerschnitten diese im wesentlichen ganz überdeckende Leiterpfade ein, so erkennt man, daß eine Leiterpfadkonzentration im Bereich nahe den punktförmigen Elektroden vorhanden ist, derart, daß Bewegungen der Leiterpfade aufgrund der Strömung der leitenden Flüssigkeit in diesen Bereichen besonders starken Einfluß auf das von den Elektroden abnehmbare Signal haben.

Charakteristische Strömungen im Strömungskanalabschnitt eines induktiven Durchflußmessers können, wenn sie laminar sind, im ungestörten Zustand ein mit Bezug auf die Strömungskanalmittelachse rotationssymmetrisches Geschwindigkeitsprofil haben oder bei einer asymmetrischen Störung ein Strömungsprofil aufweisen, dessen Maximum in radialer Richtung seitlich gegenüber der Strömungskanalmittelachse versetzt ist. Für hohe Strömungsgeschwindigkeiten kann die Strömung turbulent werden, derart, daß das Strömungsprofil mit Bezug auf den Strömungskanalquerschnitt einen Plateaubereich und randnahe Bereiche geringerer Strömungsgeschwindigkeit aufweist.

Sowohl Verformungen des Strömungsprofils in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit als auch Unsymmetrien des Strömungsprofils haben einen meßwertverfälschenden Einfluß auf das mit einem induktiven Durchflußmesser der hier betrachteten Art gewonnene Meßergebnis.

Schon in der durch die Deutsche Patentschrift 1 295 223 gegebenen technischen Lehre wurde angestrebt, das magnetische Feld in einem Strömungskanalabschnitt eines induktiven Durchflußmessers derart inhomogen auszubilden, daß hierdurch dem Einfluß der notgedrungen vorhandenen Inhomogenität des Wertigkeit-Vektorfeldes auf das Meßergebnis bei ungleichförmiger Strömungsverteilung über den Strömungskanalquerschnitt hin entgegengewirkt wird. Die Deutsche Patentschrift 1 295 223 schlägt hierzu



vor, daß die Magnetanordnung, also das Magnetfelderzeugungssystem, so ausgebildet wird, daß die Feldkomponente in der die Elektroden enthaltenen Radialebene und in Ebenen parallel dazu in Richtung der Verbindungslinie zwischen den Elektroden von innen nach außen hin abnimmt.

5

Zur Verringerung der Meßwertverfälschung durch ungleichförmige Strömungsverteilung hat man auch bereits versucht, den verstärkten Einfluß des elektrodennahen Bereiches des Strömungsquerschnittes auf die Größe des Meßsignales dadurch zu kompensieren, daß man etwa gemäß der Deutschen Offenlegungsschrift 26 22 943 bei Erzeugung des Magnetfeldes mittels stromdurchflossener Spulen zusätzliche Kompensations-  
10 onsspulen vorsah, die in der die Elektroden enthaltenden Querschnittsebene des Strömungskanalabschnittes oder auch stromaufwärts oder stromabwärts hiervon Magnetfelder erzeugten, die die Strömung zur Erzeugung der induzierten Spannungen in den Leiterpfaden in denjenigen Bereichen durchsetzten, welche den unmittelbar nahe den Elektroden  
15 gelegenen Bereichen zuzuordnen sind, wobei die Orientierung dieser Magnetfelder zu dem Hauptmagnetfeld entgegengesetzt gerichtet war.

Der sich hierbei ergebende Aufbau der gesamten Einrichtung ist vergleichsweise kompliziert, wobei die in der Nähe der Elektroden gelegenen Teile des Magnetsystems,  
20 die unmittelbar auf den Bereich sehr großer Leitungspfadichte einwirken, eine sehr genaue Montage und extrem feine Justierung erfordern.

Ein ähnlich wie die zuvor betrachtete Einrichtung wirkender induktiver Durchflußmesser mit einem vereinfachten Aufbau des Magnetfelderzeugungssystems ist in  
25 der Deutschen Offenlegungsschrift 400 20 30 beschrieben.

Schließlich offenbart die Europäische Patentanmeldung, Veröffentlichungsnummer 41 80 33, einen induktiven Durchflußmesser der hier betrachteten Art mit einem gegenüber dem Paar einander gegenüberliegender Meßelektroden um 90° versetzten  
30 Haupt-Magnetfelderzeugungssystem, das jeweils mit sich über einen begrenzten Winkelbereich der Strömungskanalwand an dessen Außenfläche anliegenden Polschuhen



ausgestattet ist, und mit diese Polschuhe umschlingenden Hilfsspulen, die sich über einen größeren Winkelbereich an die Außenfläche des Strömungskanalabschnittes anschmiegen, derart, daß über eine in Umfangsrichtung weniger als  $180^\circ$  überspannende Mantelfläche der Strömungskanalwand zwischen den Meßelektroden eine etwa sinusförmige Durchflutungsverteilung des Magnetfelderzeugungssystems erreicht wird.

Es zeigt sich, daß auch mit diesem bekannten induktiven Durchflußmesser keine ganz zufriedenstellende Unempfindlichkeit des Meßergebnisses gegenüber strömungsgeschwindigkeitsabhängigen Veränderungen des Strömungsprofils und gegenüber unsymmetrischen Verzerrungen des Strömungsprofils der Strömung im Strömungskanalabschnitt erreicht werden kann.

Der vorliegenden Erfindung liegt demgemäß die Aufgabe zugrunde, einen induktiven Durchflußmesser der hier betrachteten allgemeinen Art so auszugestalten, daß bei vergleichsweise einfachem Aufbau und einfacher Herstellung des Magnetfelderzeugungssystems eine beträchtlich verbesserte Unempfindlichkeit gegenüber Meßwertverfälschungen aufgrund von strömungsgeschwindigkeitsabhängigen Veränderungen des Strömungsprofils im Strömungskanalquerschnitt oder aufgrund von Unsymmetrien des Strömungsprofils relativ zur Strömungskanalmittelachse erreicht wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen induktiven Durchflußmesser mit den Merkmalen gemäß bei dem Anspruch 1 gelöst. Es sei hier betont, daß erfindungsgemäß eine um bis zu einer Größenordnung verbesserte Unempfindlichkeit gegenüber Meßwertverfälschungen erreicht wird, wobei dem Konstrukteur ein überraschend einfaches Konzept zur Aufgabenlösung für vielerlei Anwendungsfälle geboten wird.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen sind Gegenstand der dem Anspruch 1 nachgeordneten Patentansprüche, deren Inhalt hierdurch ausdrücklich zum Bestandteil der Beschreibung gemacht wird, ohne an dieser Stelle den Wortlaut zu wiederholen.



Nachfolgend werden einige Ausführungsbeispiele anhand der Zeichnungen näher erläutert, wobei in den Zeichnungen eine in erster Linie die Wirkungsweise verdeutlichende schematische Darstellungsweise gewählt ist und auf Maßstäblichkeit kein Wert  
5 gelegt ist. In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 eine teilweise im Schnitt gezeichnete perspektivische Darstellung eines induktiven Durchflußmessers der hier betrachteten allgemeinen Art zur Erläuterung von Begriffen und geometrischen Verhältnissen;  
10

Fig. 2 eine perspektivische Ansicht eines Teiles eines induktiven Durchflußmessers zur Erläuterung des meßwertverfälschenden Einflusses einer asymmetrischen Verzerrung des Geschwindigkeits-Vektorfeldes im Strömungskanalquerschnitt relativ zur Strömungskanalmittelachse;  
15

Fig. 3 eine perspektivische Ansicht eines Teiles eines induktiven Durchflußmessers zur Erläuterung des meßwertverfälschenden Einflusses einer Änderung des zur Strömungskanalmittelachse symmetrischen Strömungsgeschwindigkeit-Vektorfeldes beim Übergang von einer laminaren Strömung zu einer turbulenten Strömung;  
20

Fig. 4 eine perspektivische Ansicht eines Teiles eines induktiven Durchflußmessers, durch dessen Strömungskanalquerschnitt eine laminare Strömung der elektrisch leitenden Flüssigkeit tritt;  
25

Fig. 5 eine schematische perspektivische Ansicht eines induktiven Durchflußmessers der hier angegebenen Art mit einem aus Feldspulen gebildeten Magnetfelderzeugungssystem;  
30



Fig. 6 eine schematische perspektivische Ansicht eines induktiven Durchflußmessers der hier angegebenen Art mit einem aus einem magnetischen Schließungskreis mit Polschuhen gebildeten Magnetfelderzeugungssystem; und

Fig. 7A bis 7F Abwicklungen der Strömungskanalinnenwand in einem Umfangsbereich zwischen dem Mittelpunkt zwischen den Meßelektroden bis zu einer Meßelektrode hin, für verschiedene Ausführungsformen eines induktiven Durchflußmessers der hier angegebenen Art.

Der in Fig. 1 in seinen grundsätzlichen Bestandteilen dargestellte induktive Durchflußmesser der hier betrachteten allgemeinen Art enthält einen Strömungskanalabschnitt 1 in Gestalt eines Rohres aus elektrisch isolierendem Material. Die Mittellängsachse des Strömungskanalabschnittes 1 ist mit Z bezeichnet. In der Mitte der Längserstreckung des Strömungskanalabschnittes 1 befinden sich an einander diametral über den betreffenden Strömungskanalquerschnitt hinweg gegenüberliegenden Orten beispielsweise etwa punktförmige Meßelektroden 2 und 3, welche über durch die Wand des elektrisch isolierenden Strömungskanalabschnittes 1 reichende Meßleitungen 4 bzw. 5 an ein Spannungsmeßgerät 6 angeschlossen sind. Die Meßelektroden 2 und 3 können auf der Innenseite des Strömungskanalabschnittes 1 unmittelbar Verbindung zu der den Strömungskanalabschnitt 1 durchfließenden, elektrisch leitenden Flüssigkeit aufnehmen oder aber bei dem Fachmann bekannter Wechselstromerregung eines Magnetfelderzeugungssystems des induktiven Durchflußmessers kapazitiv an die elektrisch leitende Flüssigkeit angekoppelt sein, so daß die Meßelektroden in diesem Fall an der Innenseite des Strömungskanalabschnittes 1 nicht frei zu liegen brauchen. Der Abstand der die Meßelektroden 2 und 3 enthaltenden Querschnittsebene des Strömungskanalabschnittes 1 von dessen stromauf gelegenem Ende und dessen stromab gelegenem Ende sei jeweils mit z bezeichnet.





Schließlich ist in Fig. 1 durch Blocksymbole ein Magnetfelderzeugungssystem 7 angedeutet. Dieses erzeugt ein durch Vektoren der magnetischen Induktion dargestelltes Induktions-Vektorfeld  $\vec{B}$ , wobei die magnetischen Feldlinien die Wand des Strömungskanalabschnittes 1 und dessen Innenraum durchsetzen und im wesentlichen senkrecht zur Mittelachse Z und senkrecht zur die Meßelektroden 2 und 3 verbindenden Durchmesserlinie des Strömungskanalquerschnittes orientiert sind.

Die hier betrachtete Länge des Innenraumes des Strömungskanalabschnittes 1 von 2z ist hier etwa gleich dem Durchmesser des Strömungskanalquerschnittes gewählt. Ein von dem Magnetfelderzeugungssystem 7 erzeugtes Magnetfeld sei für die Erläuterungszwecke im Zusammenhang mit Fig. 1 zunächst als im gesamten Innenraum des Strömungskanalabschnittes 1 homogen angenommen. Wird nun eine elektrisch leitende Flüssigkeit durch den Innenraum des Strömungskanalabschnittes 1 geführt, so haben die Strömungspartikel der Flüssigkeit Geschwindigkeiten entsprechend den einzelnen zu der Mittellängsachse Z parallelen Geschwindigkeitsvektoren eines Vektorfeldes  $\vec{v}$ .

Eine Vielzahl von den den gesamten Innenraum des Strömungskanalabschnittes 1 sowohl über den Kanalquerschnitt als auch über die Länge des Strömungskanalabschnittes 1 hin durchsetzenden Leiterpfaden ist durch gestrichelte Linien w in Fig. 1 angedeutet. Bewegt sich die elektrisch leitende Flüssigkeit entsprechend dem Geschwindigkeits-Vektorfeld  $\vec{v}$  durch den Strömungskanalabschnitt 1, so sind die Leiterpfade entsprechend den Linien w als im Magnetfeld bewegte Leiter zu verstehen, in welchen jeweils elektromotorische Kräfte aufgrund der Bewegung der Leiterpfade induziert werden, derart, daß schließlich zwischen den Meßelektroden 2 und 3 eine resultierende induzierte Meßspannung ansteht, welche durch das Meßgerät 6 gemessen wird und zu der Durchflußmenge je Zeiteinheit der elektrisch leitenden Flüssigkeit in Beziehung steht.

Aufgrund der Orientierung und des Verlaufs der in der elektrisch leitenden Flüssigkeit angenommenen Leiterpfade entsprechend den Linien w tragen die in den einzelnen Leiterpfaden induzierten elektromotorischen Kräfte in unterschiedlichem Maße zu



dem schließlich am Meßgerät 6 ablesbaren Meßsignal S bei. Dies ergibt sich daraus, daß die Leiterpfade mindestens in bestimmten Abschnitten ihres Verlaufes zwischen den Meßelektroden 2 und 3 eine von dem Verlauf senkrecht zur Mittellängsachse Z und senkrecht zu den Feldlinien des Magnetfeldes unterschiedliche Orientierung haben und  
5 auch jeweils unterschiedliche Längen besitzen.

Aus diesem Grunde rechtfertigt sich eine Betrachtung der Leiterpfadkonfiguration als Leiterpfadkonfigurations-Wertigkeitsvektorfeld  $\vec{W}$ , wobei dieses nachfolgend abgekürzt als Wertigkeits-Vektorfeld bezeichnete Vektorsystem die für die Induktion von  
10 elektromotorischen Kräften verantwortlichen Orientierungskomponenten des Leiterpfadverlaufs berücksichtigen.

Das an dem Spannungsmeßgerät 6 ablesbare Signal S ist folgendermaßen auszudrücken:

15

$$S \sim \int_{(Vol)} (\vec{B} \times \vec{W}) \cdot \vec{v} d(Vol)$$

Haben sämtliche zur Mittellängsachse Z parallele Vektoren des Strömungsgeschwindigkeit-Vektorfeldes  $\vec{v}$  gleiche Länge, ist also die Strömungsgeschwindigkeit  
20 über dem Strömungskanalquerschnitt hin konstant, dann ergibt sich eine lineare Abhängigkeit des Meßsignales S von der Strömungsgeschwindigkeit, da das Produkt  $(\vec{B} \times \vec{W})$  im wesentlichen als eine durch die geometrische Anordnung im Durchflußmesser bestimmte Vorrichtungskonstante ist.

25 Praktisch aber erleidet das Geschwindigkeits-Vektorfeld  $\vec{v}$  für bestimmte Betriebsfälle des induktiven Durchflußmessers bestimmte Verzerrungen, die kurz unter Bezugnahme auf die Fig. 2 bis 4 rein qualitativ behandelt seien.

Fig. 2 zeigt ein Vektorfeld  $\vec{v}$  der Geschwindigkeitsverteilung über den Strömungskanalquerschnitt hin, bei dem keine Rotationssymmetrie des Strömungsprofils  
30



mit Bezug auf die Mittellängsachse Z des Strömungskanalabschnittes 1 vorliegt. Der Bereich maximaler Geschwindigkeitsvektoren des Vektorfeldes  $\vec{v}$  ist mit Bezug auf die Mittellängsachse Z nach abwärts asymmetrisch versetzt. Diese Geschwindigkeitsverteilung kann beispielsweise daraus resultieren, daß sich in Kanalabschnitten, welche dem Strömungskanalabschnitt 1 vorgeschaltet sind, Strömungshindernisse, beispielsweise Ventilschieber, Rohrkrümmer und dgl. befinden, die bewirken, daß sich beispielsweise im unteren Quadranten des Rohrquerschnittes die maximalen Strömungsvektoren der Strömungsverteilung befinden. Der Bereich des Maximum kann jedoch auch in anderen Quadranten liegen, etwa in einem Querschnittsquadranten, an den die Meßelektrode 2 angrenzt, oder in einem Querschnittsquadranten, welcher dem Scheitelpunkt des Strömungskanalabschnittes 1 benachbart ist, oder auch in dem Querschnittsquadranten, an den die Meßelektrode 3 angrenzt.

Fig. 3 zeigt eine Situation, bei der aufgrund hoher Strömungsgeschwindigkeit im Strömungskanalabschnitt 1 ein Übergang von der laminaren Strömung (siehe Fig. 4) zu einer turbulenten Strömung stattgefunden hat. Das Strömungsprofil ist in einem Axiallängsschnitt einer Trapezform angenähert, wobei Randschichten geringer Strömungsgeschwindigkeit verhältnismäßig geringe radiale Stärke haben. Im Bereich einer laminaren Strömung gemäß Fig. 4 hat das Strömungsprofil des Vektorfeldes  $\vec{v}$  die Gestalt eines zu der Mittellängsachse Z symmetrischen Rotationsparaboloides.

Sowohl die Lage als auch die Größe der Asymmetrie des Strömungsprofils gegenüber der Mittellängsachse Z nach Fig. 2 als auch die prinzipielle Gestalt eines zur Mittellängsachse Z symmetrischen Strömungsprofils nach den Fig. 3 und 4 und schließlich auch die Gestalt eines rotationsparaboloidischen Strömungsprofils im laminaren Strömungsbereich haben Einfluß auf das an dem Meßgerät 6 nach Fig. 1 ablesbare Meßsignal im Sinne einer Meßwertverfälschung, wenn von einem homogenen Magnetfeld B ausgegangen wird, da Abweichungen der praktischen Geschwindigkeits-Vektorfelder  $\vec{v}$  von einer über den Strömungskanalquerschnitt gleichförmigen Verteilung jeweils unterschiedliche Bewegungen der durch das Linienfeld  $w$  in Fig. 1 versinnbildlichten Leiter-



pfade des Wertigkeits-Vektorfeldes  $\vec{W}$  und damit unterschiedliche Beiträge zum Signal S bedeuten.

Es wurde nun gefunden, daß die Kompensation des meßwertverfälschenden Einflusses der Verzerrung der Strömungsgeschwindigkeitsverteilung über den Strömungskanalquerschnitt hin durch eine besondere Gestaltung von Wirkflächenanordnungen sehr erfolgreich ist, wobei diese Wirkflächenanordnungen diejenigen Flächengebilde sind, auf welche beschränkt die Feldlinien des Magnetfelderzeugungssystems die Strömungskanalinnenwand jeweils durchdringen. Diese Wirkflächenanordnungen liegen an der Strömungskanalinnenwand zwischen den Meßelektroden und erstrecken sich umfangsmäßig entsprechend dem Umschlingungswinkel von Polschuhen oder von Feldspulen anordnungen mit Bezug auf den Strömungskanalumfang, sowie in axialer Richtung entsprechend der axialen Erstreckung von Polschuhen oder von Feldspulen anordnungen symmetrisch stromauf und stromab von dem die Meßelektrodenpunkte enthaltenden Strömungskanalabschnitt-Radialquerschnitt.

Hierzu sei anhand der Fig. 5 und 6 folgendes ausgeführt:

Fig. 5 zeigt eine Ausführungsform, bei der das dem Strömungskanalabschnitt 1 und den Meßelektroden 2 und 3 in der dargestellten Weise zugeordnete Magnetfelderzeugungssystem von zwei Feldspulen 7L gebildet ist, welche sich an die äußere Umfangsfläche des Strömungskanalabschnittes 1 in der dargestellten Weise anschmiegen, jeweils in einander diametral gegenüberliegenden Bereichen zwischen den Meßelektroden 2 und 3 gelegen sind und welche einen in Fig. 5 mit  $2\phi_0$  bezeichneten Umschlingungswinkel überspannen. Die Axialerstreckung der Feldspulen 7L betrage jeweils b in symmetrischer Lage zu der die Meßelektroden 2 und 3 enthaltenden Radialebene.

In ganz entsprechender Weise zeigt Fig. 6 eine stark schematisierte perspektivische Ansicht eines induktiven Durchflußmessers mit einem das Magnetfelderzeugungssystem bildenden Schließungskreis 20, der eine nicht dargestellte Erregerspule trägt,



und der einander über den Strömungskanalabschnitt 1 gegenüberstehende Polschuhe 7P aufweist, die mit Bezug auf die Axialerstreckung wiederum symmetrisch zu der die Meßelektrodenpunkte enthaltende Radialebene gelegen sind und eine axiale Erstreckung  $b$  haben, während sie in Umfangsrichtung den im Querschnitt runden Strömungskanalabschnitt 1 mit einem Umschlingungswinkel von jeweils  $2\varphi_0$  umgeben, wie in Fig. 6 durch strichpunktierte Linien deutlich gemacht ist.

Werden die Feldspulen 7L der Ausführungsform nach Fig. 5 mit einem Erregerstrom beaufschlagt oder wird die Erregerwicklung des magnetischen Schließungskreises 20 der Ausführungsform nach Fig. 6 erregt, so durchdringen magnetische Feldlinien der von den Feldspulen bzw. den Polschuhen 7 im Innenraum des Strömungskanalabschnittes 1 erzeugten magnetischen Felder die begrenzende Innenwand des Strömungskanalabschnittes 1 jeweils weitestgehend beschränkt auf einander diametral gegenüberliegende zylindrische Wirkflächenanordnungen, auf deren Gestalt es gemäß der hier gegebenen Lehre wesentlich ankommt, um in überraschend einfacher Weise meßwertverfälschende Einflüsse von Verzerrungen der Strömungsgeschwindigkeitsverteilung über den Strömungskanalquerschnitt hin zu kompensieren.

Die möglichen Formen der Wirkflächenanordnungen lassen sich aus Abwicklungen der zylindrischen Innenwand des Strömungskanalabschnittes 1 im Umfangsbereich zwischen der mittig zwischen den Meßelektroden 2 und 3 gelegenen Zylindermantellinie und der durch je eine der Meßelektroden, beispielsweise durch die Meßelektrode 3 gehenden Zylindermantellinie gemäß den Darstellungen nach den Fig. 7A bis 7F erkennen. In den Fig. 7A bis 7F bezeichnet eine strichpunktierte Horizontallinie  $R$  die Spur der Verschneidung zwischen der Strömungskanalinnenwand und einer die Meßelektroden 2 und 3 enthaltenden Radialebene. Sämtliche gezeigten Abwinklungen erstrecken sich über einen Umfangswinkelbereich von  $\varphi=90^\circ$  und stellen also jeweils ein viertel der Innenumfangsfläche des Strömungskanalabschnittes 1 dar.

Bei der Ausführungsform nach Fig. 7A ist die Wirkflächenanordnung mit  $F_a$  bezeichnet und entspricht qualitativ derjenigen Magnetfeldlinien-Durchtrittsfläche, die



durch die Feldspulenanordnung 7L nach Fig. 5 in einem Quadranten der Strömungskanalinnenfläche erzeugt wird.

Zeichnet man an die Wirkflächenanordnung Fa tangentiale Begrenzungsgeraden T1 und T2, welche die Wirkflächenanordnung Fa in zwei Punkten von außen berühren, so ist aufgrund der Gestalt der Wirkflächenanordnung dafür Sorge getragen, daß diese Begrenzungsgeraden T1 und T2 paarweise in Richtung auf den jeweiligen Ort der Messelektrode, in der gewählten Darstellung also der Meßelektrode 3, hin konvergieren, wobei diese Bedingung allein für den angestrebten Zweck jedoch nicht ausreichend ist. Von wesentlicher Bedeutung ist, daß die Wirkflächenanordnungen so geformt sind, daß sich zwischen den jeweiligen zwei Berührungspunkten Konkavbereiche K befinden, in denen die Umgrenzungslinien der Wirkflächenanordnungen Fa keinerlei Berührungspunkte mit den tangentialen Begrenzungsgeraden T1 bzw. T2 haben.

Bei der Ausführungsform nach Fig. 7B sind die Wirkflächenanordnungen Fb aufgrund entsprechender Gestaltung der Feldspulen 7L in den Bereichen größeren Umschlingungswinkels mittels Einschnürungen versehen, so daß die Konkavbereiche K vergrößert sind. Die Wirkflächenanordnungen Fb sind jedoch noch jeweils in sich geschlossen.

Gemäß der in Fig. 7C gezeigten Ausführungsform können die Wirkflächenanordnungen auch durch voneinander getrennte Flächengebilde Fc ausgebildet sein, was bedeutet, daß in einem bestimmten Umschlingungswinkelbereich geringerer Erstreckung eine Hauptfeldspule vorgesehen ist, an welche sich jeweils in größeren Umschlingungswinkelbereichen in Richtung auf die Meßelektroden 2 und 3 hin kleine Hilfsfeldspulen mit zu demjenigen der Hauptfeldspule gleichem Wicklungssinn befinden. Durch eine solche Ausbildung können die Konkavbereiche K zwischen den Umgrenzungslinien der Wirkflächenanordnung Fc und den tangentialen Begrenzungsgeraden T1 und T2 noch vergrößert werden, wenn dies in bestimmten Fällen wünschenswert ist.



Es hat sich gezeigt, daß die umfangsmäßige Erstreckung der Wirkflächenanordnungen Fa bzw. Fb bzw. Fc entsprechend dem Umschlingungswinkel  $2\varphi_0$  der zugehörigen Feldspulenordnung 7L im Bereich von mindestens  $120^\circ$ , vorzugsweise mehr als  $140^\circ$  liegt, wobei Umschlingungswinkelbereiche über  $140^\circ$  zu überraschend guten Ergebnissen führen.

Betrachtet man die Ausführungsformen nach den Fig. 7A bis 7C, so erkennt man, daß die Wirkflächenanordnungen Fa bzw. Fb bzw. Fc ihren Flächenschwerpunkt der Umfangsmitte der Strömungskanalinnenfläche zwischen den Meßelektroden näherliegend haben, während diejenigen Teile der Wirkflächenanordnungen, die sich weiter hin zu den Meßelektroden 2 bzw. 3 erstrecken, geringeres Flächengewicht haben. Es ist in diesem Zusammenhang festzustellen, daß im Sinne der Lösung der gestellten Aufgabe sehr vorteilhafte Ergebnisse erzielt werden, wenn jede Wirkflächenanordnung in einem Umfangsbereich von der symmetrisch zwischen den Meßelektroden gelegenen Umfangsmitte entsprechend  $\varphi=0$  bis zu  $\varphi=\pm\varphi_0/2$  mindestens 65%, vorzugsweise mehr als 75% ihres Flächeninhaltes aufweist, und in einem Umfangsbereich von  $\varphi=\pm\varphi_0/2$  bis  $\varphi=\pm\varphi_0$  jeweils entsprechend höchstens 35%, vorzugsweise weniger als 25% ihres Flächeninhaltes aufweist.

In analoger Weise wie Fig. 7A in einem Quadrant die Wirkflächenanordnungen in Abwicklung darstellt, wie sie von Feldspulenordnungen 7L gemäß Fig. 5 definiert werden, zeigt Fig. 7D die Abwicklung über einen Quadranten einer Wirkflächenanordnung Fd, wie sie etwa durch die Polschuhordnung 7P des magnetischen Schließungskreises 20 von Fig. 6 definiert wird. Auch hier konvergieren an die Wirkflächenanordnung Fd gelegte tangentiale Begrenzungsgeraden T1 und T2, welche die Wirkflächenanordnung Fd jeweils in zwei Punkten von außen berühren paarweise, in Richtung auf den jeweiligen Ort der Meßelektroden hin, vorliegend also auf den Ort der Meßelektrode 3 hin. Zwischen den jeweiligen zwei Berührungspunkten liegen auch hier Konkavbereiche K, in denen die Umgrenzungslinien der Wirkflächenanordnungen keinerlei Berührungspunkte mit den tangentialen Begrenzungsgeraden T1 und T2 haben.



Fig. 7E zeigt eine Wirkflächenanordnung Fe, bei der voneinander getrennte Wirkflächenelemente zusammenwirken. Der Fachmann erkennt, daß eine solche Wirkflächenanordnung durch Polschuhe definiert werden kann, die abweichend von der Anordnung gemäß Fig. 6 anstelle der einstückig angesetzten schmälere Polschuhstege gesonderte Hilfspolschuhe aufweist, die sich jeweils beidseitig von Hauptpolschuhen zwischen diesen und den Meßelektroden gelegen an die jeweiligen Umfangsflächen des Strömungskanalabschnittes 1 anlegen und mit Bezug auf die Hauptpolschuhe gleichdurchflutet sind. Die Konkavbereiche K haben bei der Ausbildung der Wirkflächenanordnung Fe gegenüber der Ausführungsform nach Fig. 7D größere Erstreckung.

Schließlich zeigt die Darstellung von Fig. 7F die Möglichkeit auf, bei nicht in sich geschlossenen Wirkflächen etwa nach der Art von Fig. 7C oder 7E zwischen den Wirkflächenteilen symmetrisch zu beiden Seiten eines Hauptwirkflächenelementes Unter-  
Wirkflächen Fu anzuordnen, durch die Feldlinien von Magnetfeldern treten, die entgegengesetzt zu den die Wirkflächenanordnungen durchdringenden Feldlinien orientiert sind und welche von Zusatz-Magnetfelderzeugungssystemen erzeugt werden, welche magnetische Zusatz-Schließungskreise oder Zusatz-Feldspulenordnungen enthalten. Für bestimmte charakteristische Verzerrungen des Strömungsgeschwindigkeitsfeldes im Strömungskanalquerschnitt kann hier eine weitere Verbesserung der Kompensation erreicht werden. Wesentlich ist jedoch, daß das der jeweiligen Meßelektrode nächstgelegene Wirkflächenanordnungselement von Feldlinien durchsetzt wird, die mit denjenigen des Haupt-Wirkflächenanordnungselementes in der Orientierung übereinstimmt.





## Ansprüche

### 5 1. Induktiver Durchflußmesser für elektrisch leitfähige Flüssigkeiten,

- mit einem mindestens auf seiner Innenseite elektrisch isolierenden Strömungskanalabschnitt (1) im wesentlichen kreisrunden Querschnittes;
- 10 - mit mindestens einem Paar einander diametral gegenüberliegender, mit der elektrisch leitfähigen Flüssigkeit elektrisch gekoppelter Elektroden (2, 3); und
- mit einem Magnetfelderzeugungssystem (7), welches entweder von einem magnetischen Schließungskreis (20) mit einer Erregerwicklung und mit Pol-
- 15 schuhen (7P), die den Strömungskanalabschnitt (1) auf bestimmte Axiallänge (b) und mit bestimmten Umschlingungswinkel ( $2\varphi_0$ ) umfassen, oder von einer Feldspulenanordnung (7L) gebildet ist, die den Strömungskanalabschnitt (1) auf bestimmte Axiallänge (b) und mit bestimmtem Umschlingungswinkel ( $2\varphi_0$ ) umfaßt, und welches ein dem Strömungskanalinnenraum im Bereich
- 20 stromauf und stromab von den Meßelektroden (2, 3) sowie zwischen diesen durchdringendes, im wesentlichen senkrecht zu der Verbindungsgeraden zwischen den Meßelektroden und senkrecht zur Strömungskanalängsachse (Z) orientiertes Magnetfeld erzeugt, dessen Feldlinien die Strömungskanalinnenwand jeweils auf Wirkflächenanordnungen (Fa, Fb, Fc, Fd, Fe, Ff) beschränkt
- 25 durchdringen, die zwischen den Meßelektroden (2, 3) gelegen sind und sich umfangsmäßig entsprechend dem genannten Umschlingungswinkel ( $2\varphi_0$ ) und axial entsprechend der genannten Axiallänge (b) erstrecken;

dadurch gekennzeichnet, daß in einer Abwicklungsdarstellung der Strömungskanalinnenwand an die Wirkflächenanordnungen (Fa, Fb, Fc, Fd, Fe, Ff) gelegte

30



tangentiale Begrenzungsgeraden (T1, T2), welche die Wirkflächenanordnungen in zwei Punkten von außen berühren, paarweise in Richtung auf den jeweiligen Ort der Meßelektroden (2, 3) hin konvergieren und sich zwischen den jeweiligen zwei Berührungspunkten Konkavbereiche (K) befinden, in denen die Umgrenzungslinien der Wirkflächenanordnungen keinerlei Berührungspunkte mit den tangentialen Begrenzungsgeraden haben.

2. Induktiver Durchflußmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die umfangsmäßige Erstreckung ( $2\varphi_0$ ) der Wirkflächenanordnungen  $125^\circ$  bis  $145^\circ$ , oder mindestens  $120^\circ$ , vorzugsweise mehr als  $140^\circ$ , beträgt.

3. Induktiver Durchflußmesser nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß jede Wirkflächenanordnung ( $F_a - F_f$ ) in einem Umfangsbereich von der symmetrisch zwischen den Meßelektroden (2, 3) gelegenen Umfangsmitte entsprechend  $\varphi=0$  bis zu  $\varphi=\pm\varphi_0/2$  mindestens 65%, vorzugsweise mehr als 75% ihres Flächeninhaltes, und im Umfangsbereich von  $\varphi=\pm\varphi_0/2$  bis  $\varphi=\pm\varphi_0$  jeweils entsprechend höchstens 35%, vorzugsweise weniger als 25% ihres Flächeninhaltes aufweist.

4. Induktiver Durchflußmesser nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Wirkflächenanordnungen jeweils in sich geschlossene Gebilde sind.

5. Induktiver Durchflußmesser nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Wirkflächenanordnungen jeweils nicht in sich geschlossenen Flächengebilde sind.

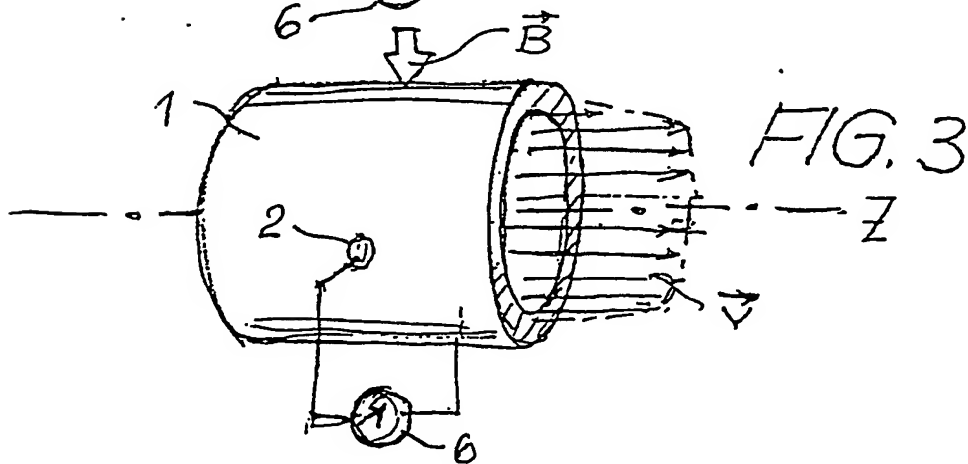
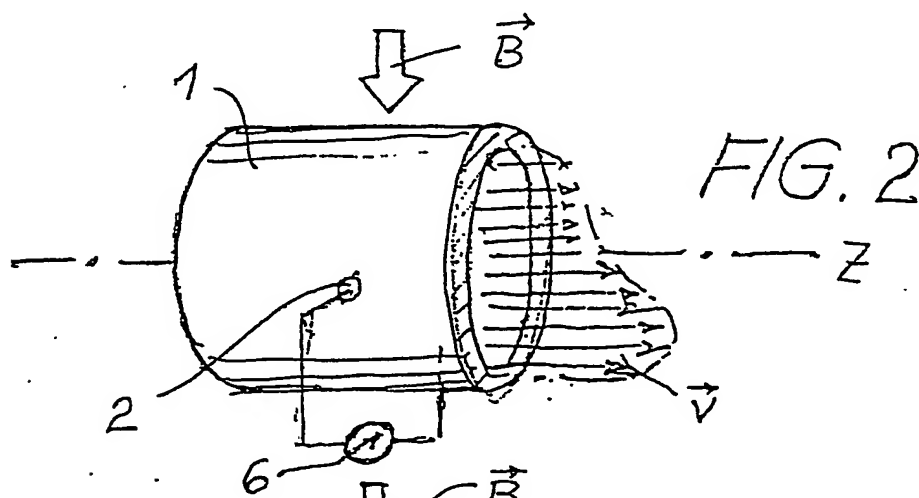
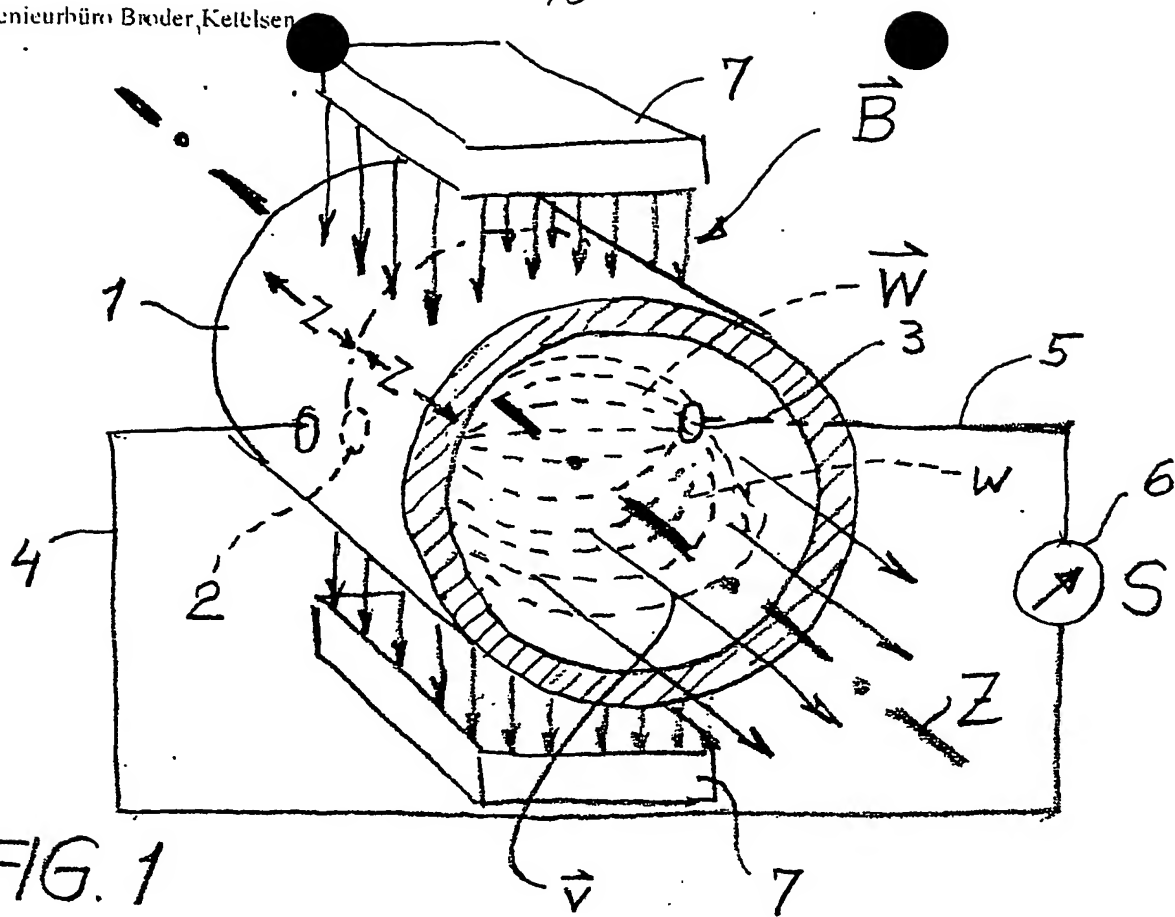


5 6. Induktiver Durchflußmesser nach Anspruch 5, gekennzeichnet durch zwischen-  
gelagerte Unter-Wirkflächen ( $F_u$ ), durch welche Feldlinien von Magnetfeldern  
treten, die entgegengesetzt zu den die Wirkflächenanordnungen durchdringenden  
Feldlinien orientiert sind und von Zusatz-Magnetfelderzeugungssystemen erzeugt  
werden, welche magnetische Zusatz-Schließungskreise oder Zusatz-Feldspulen-  
anordnungen enthalten (Fig. 7F).

10 7. Induktiver Durchflußmesser nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die Dichte der magnetischen Feldlinien in den Wirkflächenanord-  
nungen über diese hin im wesentlichen konstant ist.

15

20



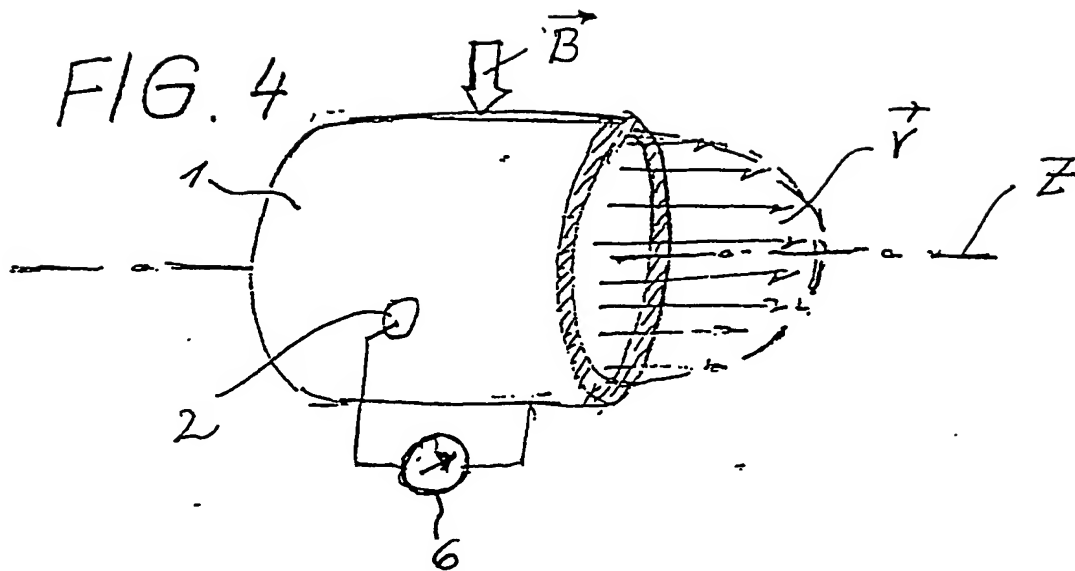


FIG. 5

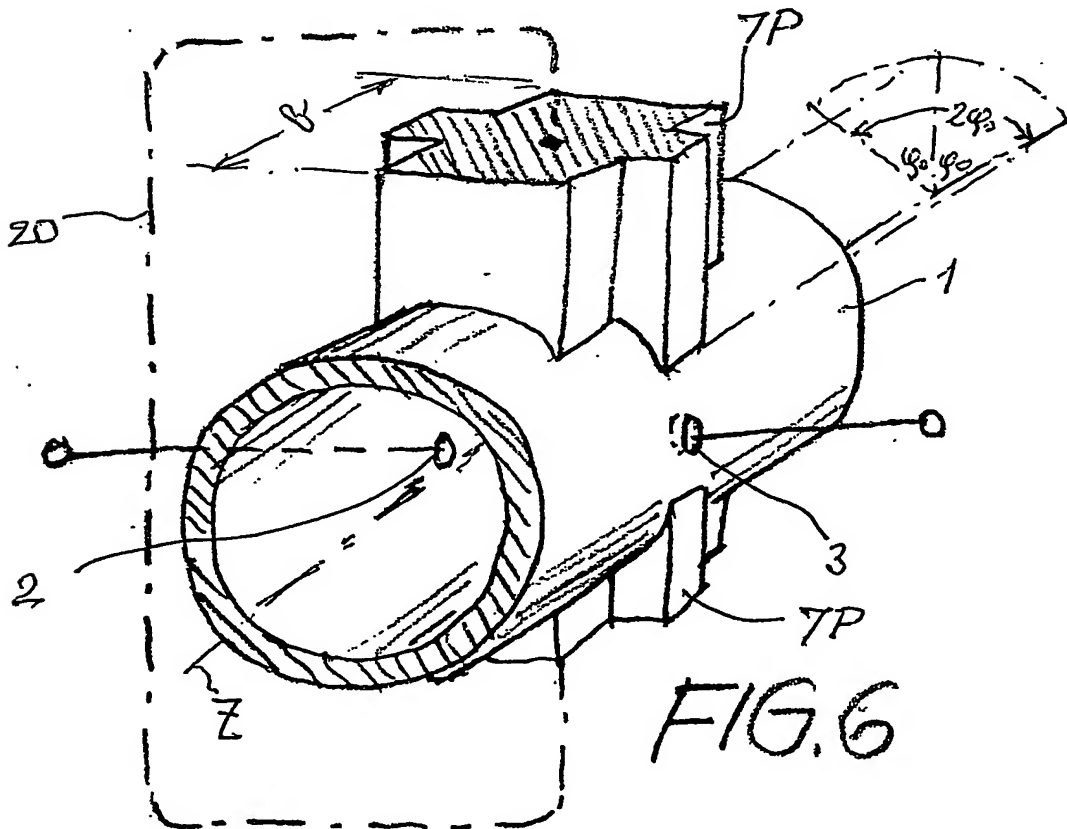
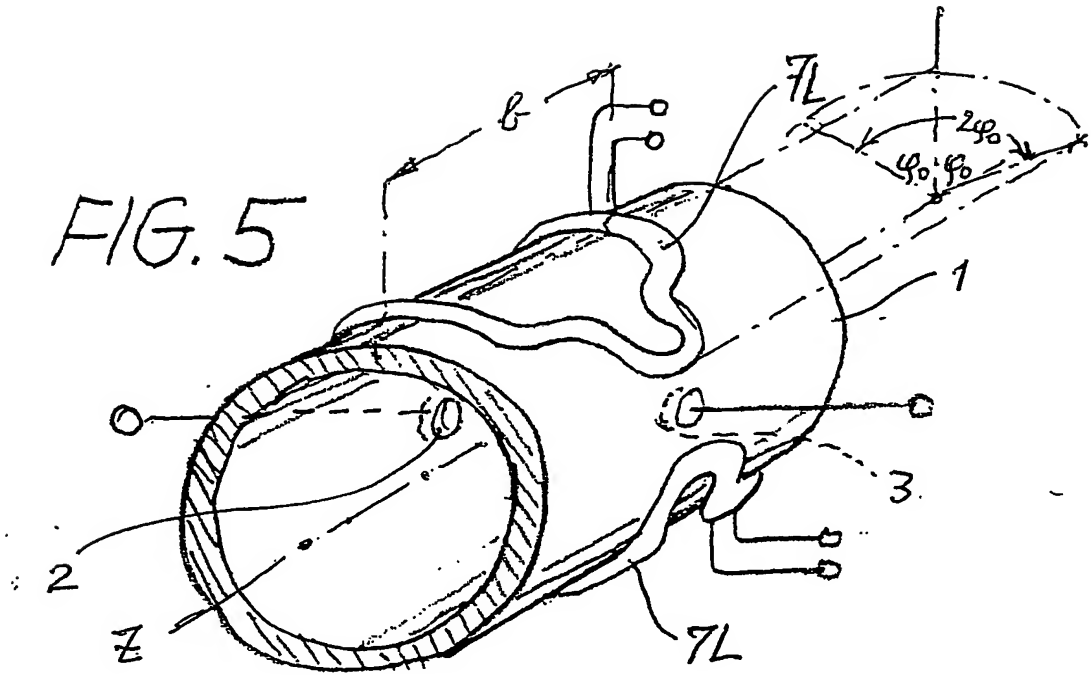
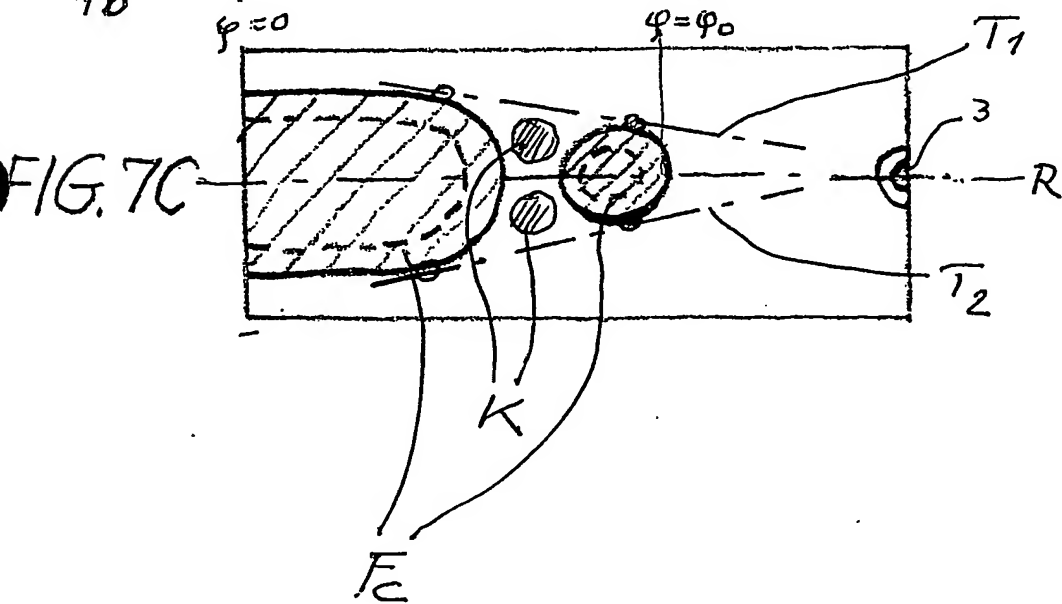
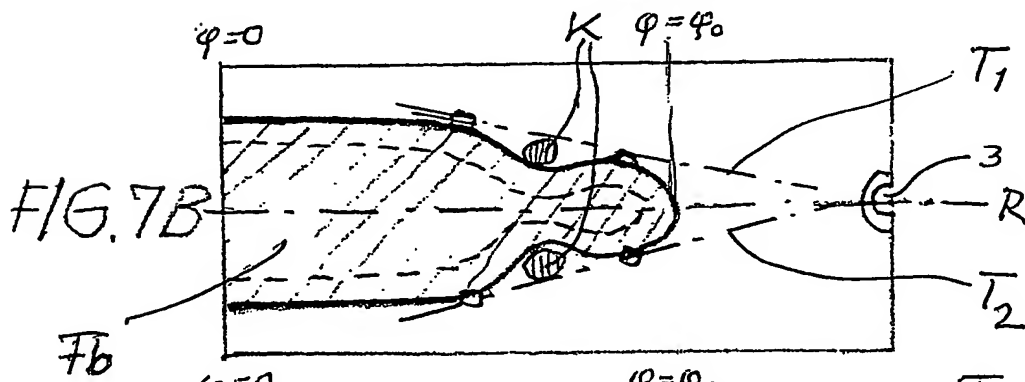
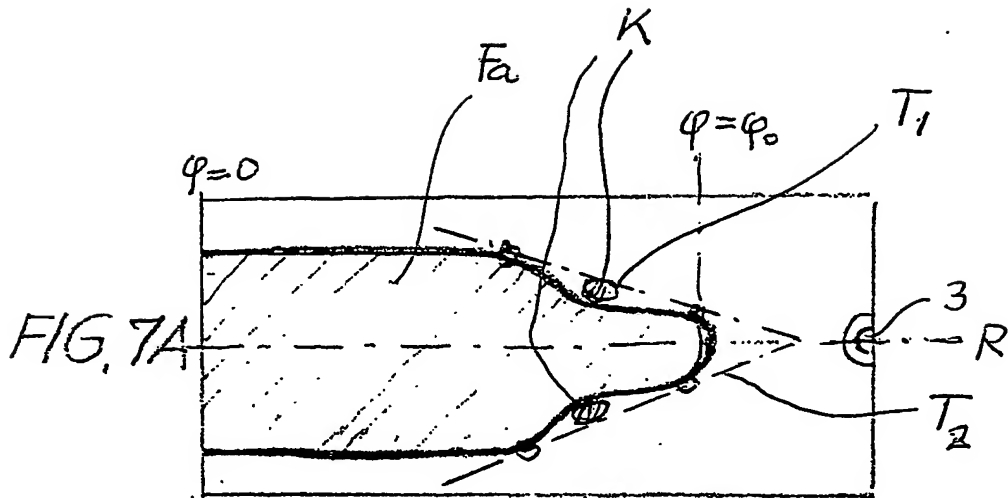
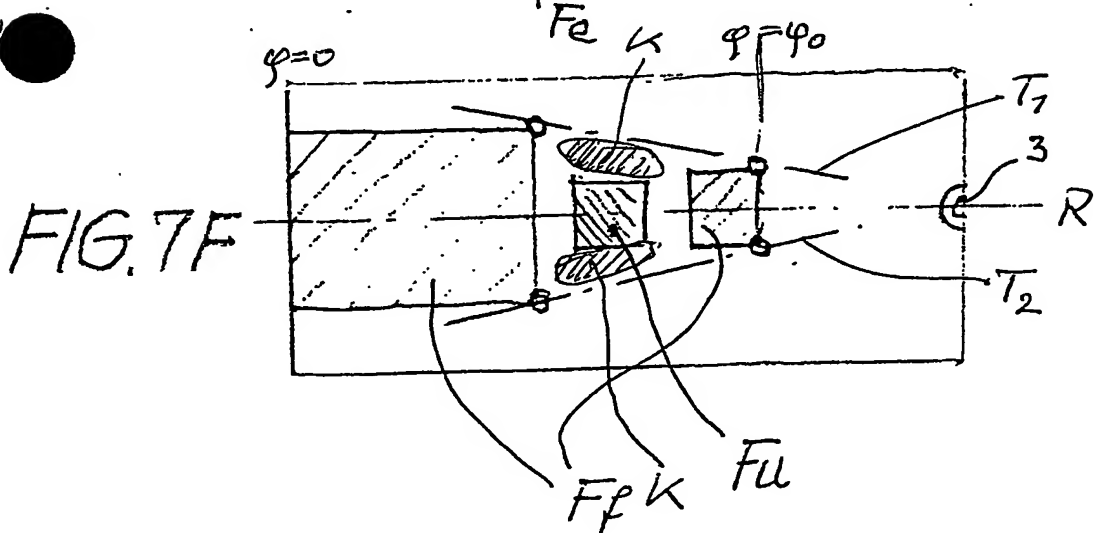
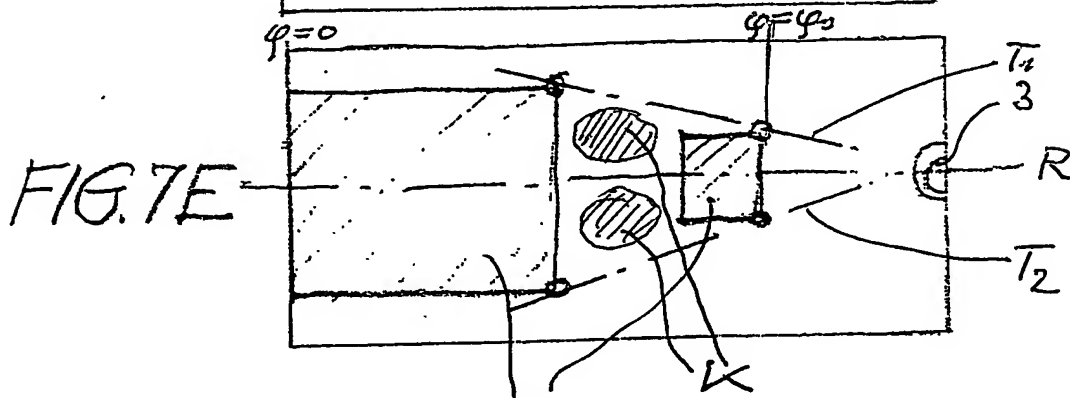
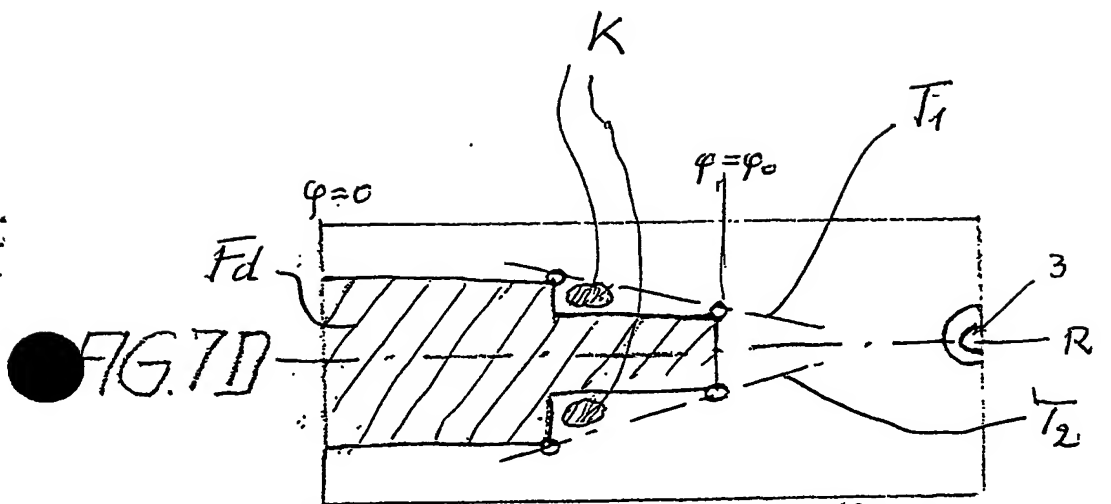


FIG. 6







**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**